



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA DILUCIÓN MINERAL EN OPERACIONES MINERAS A TAJO ABIERTO”: una revisión de la literatura científica

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería de Minas**

**Autores:**

Jonathan Miguel Huaman Ruiz

Wilder Mamani Silva

**Asesor:**

Ing. Víctor Álvarez León

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

**A Dios**, por permitirme llegar a este momento tan importante de mi formación profesional. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

**A mi madre**, María quien fue la forjadora de mi camino, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional.

**A mi padre**, Santos quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional de una manera exitosa.

**A Dios**, por regalarme la vida y por haberme ayudado a alcanzar una de mis más grandes metas.

**A mi esposa**, Magali por brindarme sus consejos, apoyo y por demostrarme que con esfuerzo y sacrificio se consigue las cosas más lindas de la vida.

**A mis hijos**, Eliana, Bruno y Valeria quienes son la fuerza y el motivo para seguir adelante en esta vida

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro reconocimiento y gratitud a:

- Mi Alma Mater La Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Privada del Norte, por contribuir el molde para lograr la profesión que siempre aspire.
- A los docentes y administrativos de la Facultad de Ingeniería de Minas por ser la vía y servicio de los conocimientos que serán la parte fundamental en mi vida profesional.
- A mi familia, en general porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos durante la formación profesional.
- A mis compañeros por su apoyo, orientación, conocimientos y en especial por todos los momentos de alegrías, tristezas, felicidad que vivimos en la facultad que hicieron esta experiencia una de las más especiales.

## Tabla de contenido

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES .....</b>	<b>23</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>24</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Artículos incluidos en la revisión, según combinación de términos .....	12
Tabla 2: Relación de artículos en los cuales se enfoca la dilución minera .....	16
Tabla 3: Parámetros de voladura .....	18
Tabla 4: Factores de carácter geológicos .....	19
Tablas 5: Formas de dilución minera .....	20
Tabla 6: Controles aplicados para minorar la dilución .....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo del proceso para la obtención y análisis de información sobre dilución en minería superficial .....	15
Figura 2: parámetros o variables de voladura .....	18
Figura 3: Ejemplo de distribución de una masa mineral en una voladura .....	21
Figura 4: Vista en planta de la voladura A y B, con vectores BMM .....	22

## RESUMEN

La dilución mineral es uno de los grandes problemas que afronta cada día las diversas compañías mineras. En esta investigación se analizará la relación entre la voladura y la dilución minera. La dilución es uno de los grandes problemas en la minería, debido a que a mayor dilución mayor pérdida económica existirá. La dilución mineral parte desde la voladura, hasta su llegada a planta; para poder definir las posibles causas partiremos desde un diseño geológico y diseño de voladura y nos enfocaremos en determinar y definir cada uno de las posibles causas que generan mayor dilución. Para ello buscamos información en la base de datos académicos como Scielo, Google Académico, en las cuales existe información referente a los puntos de dilución y se realizó la revisión sistemática referente a los años 2006 al 2019. Para analizar y estudiar las evidencias encontradas en estas investigaciones sobre: a) Dilución mineral, b) Diseño de perforación y voladura y c) Parámetros de voladura.

Según la revisión de la información estas causas se deben a los parámetros de las voladuras, diseño geológico, carguío y acarreo de material. Según resultados obtenidos por desplazamiento en voladura la pérdida de mineral es un 20 %, esto genera pérdidas significativas para las diversas empresas mineras.

**PALABRAS CLAVES:** Parámetros de voladura, dilución mineral, diseño geológico.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

El análisis de la dilución mineral es indispensable para el control de leyes y saber los efectos que causa en el planeamiento de minas y en la recuperación mineral. A nivel mundial sigue siendo un gran reto minorar el porcentaje de dilución mineral para mejorar la rentabilidad de los proyectos mineros. En Sudamérica Chile es una de los primeros países interesados en buscar una solución a este gran problema que afecta a diario a las operaciones mineras. En la actualidad las diversas operaciones buscan mejorar el beneficio económico y con este fin también buscan técnicas y/o ensayos que ayuden a minorar el porcentaje de dilución mineral. Para ello se deben realizar estudios y análisis de base de datos desde el modelo geológico hasta la trituración de mineral. Los estudios se enfocan en definir los diferentes parámetros de voladura y caracterización geológica como: diseño de malla de perforación, factor de carga de explosivos, altura de banco, litología, además realizar ensayos de desplazamiento de material volado. Los cuales nos ayuden a identificar cuáles son los parámetros que afectan con mayor relevancia en la dilución. Para ello es justo estudiar los diversos parámetros tanto de la voladura como los estudios geológicos del proyecto. La pregunta de investigación para poder seguir con el proceso metodológico fue la siguiente ¿cuáles son las principales causas que contribuyen con la dilución mineral a partir de las voladuras en las diversas operaciones mineras a tajo abierto?

Todas las operaciones mineras experimentan dilución en algún momento y, en la mayoría de los casos, la eliminación de los residuos dentro de los bloques de mineral es imposible. sin embargo, la experiencia ha demostrado que la dilución se puede controlar a niveles aceptables mediante la implementación de principios correctos de ingeniería de minas (Butcher, 2000).



“El control de contactos minerales antes de realizar la excavación y carguío es esencial para asegurarse de que los tipos de material lleguen a las ubicaciones correctas, de modo que se recupere el mineral de forma óptima”. (Perumin-33-SPANIHS-FINAL, 2018)

Al extraer conjuntamente mineral y estéril se reduce la pureza del primero disminuyendo su valor comercial, o aumenta el costo de procesamiento para intentar aislarlo del agente contaminante. Esta situación, conocida como dilución minera, es muy común en la industria y se debe principalmente a la forma de la mineralización y a la selectividad de los equipos de extracción.

La dilución minera es un concepto de suma importancia, debido a que mayor porcentaje de dilución menor porcentaje de mineral. En este caso habrá menores ingresos para la compañía.

En diversos estudios realizados, los investigadores basan su interés en desarrollar diseños de voladura en base a las unidades geológicas definidas en los diferentes proyectos poniendo gran énfasis en las zonas de contacto mineral – estéril. Por otro lado, se realizan monitoreo de desplazamiento en voladura para determinar el movimiento de material y poder generar los nuevos límites de los polígonos a minar. Hay que determinar cómo se mueve la roca volada en las condiciones específicas de nuestra explotación esto se consigue mediante el modelo de desplazamiento en el que los ingenieros de voladura en coordinación con el departamento de geología y topografía estiman un desplazamiento de la roca, no solo en la superficie sino en el corazón el banco de voladura. ((XII Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales Oviedo, 2007)

En los últimos años se viene trabajando con pruebas de BMMs para poder controlar y minimizar la dilución por desplazamiento de material a causa de la voladura, con ello se realiza un nuevo replanteo de polígonos para delimitar mineral y estéril. Por otro lado, también se trabaja con los factores de la voladura en los parámetros como: tipo de explosivo, carga de explosivo, burden y espaciamiento de acuerdo al contacto que existe entre mineral – estéril con la finalidad de optimizar los recursos minerales.

Las pérdidas de mineral y la dilución son problemas que a menudo son difíciles de localizar y cuantificar, pero con ayuda de un método de control se hace posible minimizarlos.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

En esta investigación se realizó el método de estudio de revisión sistemática de la literatura científica en la cual se analizaron y estudiaron las evidencias encontradas en investigación en relación a los temas de dilución mineral a partir de una voladura en diversas operaciones mineras. Para ello es justo estudiar los diversos parámetros tanto de la voladura como los estudios geológicos del proyecto. La pregunta de investigación para poder seguir con el proceso metodológico fue la siguiente ¿cuáles son las principales causas que contribuyen con la dilución mineral a partir de las voladuras en las diversas operaciones mineras a tajo abierto?

Para la siguiente investigación se seleccionó información en español e inglés de artículos publicados entre los años 2000 y 2019, referente a temas de: parámetros de voladura y dilución mineral en minería a cielo abierto, no se tomaron en cuenta artículos sobre minería subterránea. Se consideró las publicaciones entre los años 2000-2019 debido a que esta información es más actualizada en torno a la minería. Para obtener esta información se utilizó la base de datos de Google Académico y Scielo, para la búsqueda de información se utilizaron las combinaciones de términos tanto en español como en inglés como: dilución minera, modelo de desplazamiento en voladura, mineral-estéril, dilución operacional, voladura y dilución minera, blasting and mining dilution y dilution operational. De los cuales se eliminaron artículos que contenían la misma información. Con los artículos seleccionados se procedió al estudio de investigación estos artículos lo detallamos en la siguiente tabla.

*Tabla 1 Artículos incluidos en la revisión, según combinación de términos.*

Fuente	País	Metodología	Resumen
XII Congreso internacional de energía y recursos minerales. Octubre 2007	España	Google Académico	En este artículo, se definen los parámetros de voladura para realizar una voladura controlada con la finalidad de minorar la dilución. También se define modelo de desplazamiento, contacto mineral-estéril, diseño geológico.
Metodología para evaluar la dilución operativa en minería a cielo abierto. Agosto 2007	Chile	Google Académico	Se evalúa la variación de las leyes en zonas de contacto mineral-estéril en base a las toneladas. Se realiza estudios Geoestadísticos como kriging en los polígonos de minado.
Control geológico del mineral en producción. (Tesis) Romero Alegría. Lima-2009	Perú	Google Académico	Se evalúa las posibles causas de dilución al momento de las tomas de muestra de los blasts holes. Lo cual conlleva a generar un mal diseño geológico y cálculo de leyes.
The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2016.	Sudáfrica	Scielo	En este artículo se estudia aumentar el beneficio de la mina. Mediante el control de la distribución del tamaño de las partículas. Para ello se estudió el movimiento de la roca, pérdida de mineral y dilución.

Quantifying dilution caused by execution efficiency	Brasil	Scielo	Se realiza los estudios en base a polígonos de minado. A partir del modelo geológico.
Instituto tecnológico 2016	Vale.		
Minimización de la Dilución Minera, la Pérdida de mineral y la Clasificación Errónea al contabilizar el desplazamiento en voladura en minas cupríferas de tipo pórfido - Skarn y de tipo manto en América del Sur.	Perú	Google Académico	Es este artículo se analiza el desplazamiento del material roto por la voladura mediante las pruebas BMMs, para poder saber en qué dirección y cuanto se desplaza el material y poder replantear los nuevos polígonos con la finalidad de minorar la dilución operacional. Se realizaron pruebas en minas de Chile y Perú. También hace mención a los ajuste en los parámetros de voladura.
Instituto de ingenieros de minas del Perú. 2018			

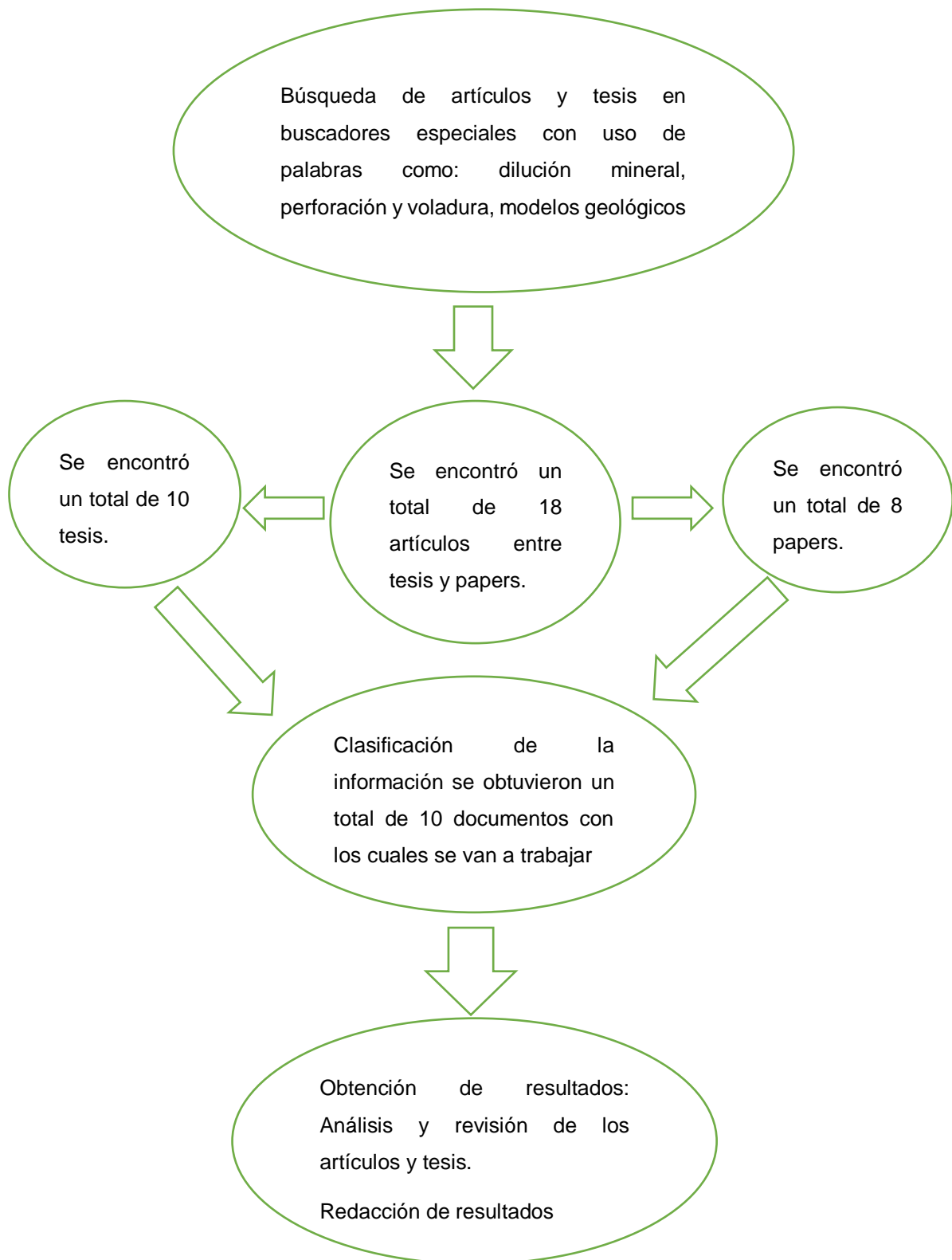
---

Fuente: Elaborado por los investigadores

### **CAPÍTULO III. RESULTADOS**

Al momento de realizar la búsqueda de artículos, en la base se demostró un total de 18 artículos que corresponden a los años 2000 al 2019, los cuales fueron encontrados en Google Académico un total de 11 artículos y en Scielo 7 artículos los cuales fueron encontrados haciendo uso de las palabras claves como: dilución minera, modelo de desplazamiento en voladura, mineral-estéril, dilución operacional, voladura y dilución miera, blasting and mining dilution y dilution operational. Posterior a esto se realizó el filtro de los artículos, los cual permiten tener información confiable para poder trabajar en la investigación en base a los artículos seleccionados.

*Figura1.* Diagrama de flujo del proceso para la obtención y análisis de información sobre dilución en minería superficial.



Fuente: Elaborado por los investigadores

Después de tener los artículos seleccionados sobre voladura y dilución de minerales que fueron publicados a nivel internacional y nacional, los cuales son nombrados en la tabla N° 2 se procedió con la investigación científica.

*Tabla 2. Relación de artículos en los cuales se enfoca la dilución minera.*

Tema de estudio	País	Articulo	Año	Institución
Técnicas de voladuras para control de dilución en minería.	España	XII Congreso internacional de energía y recursos minerales.	2007	Universidad Politécnica de Madrid.
Metodología para evaluar la dilución operativa en minería a cielo abierto.	Chile	Metodología para evaluar la dilucion operativa en minería a cielo abierto Pena_fc	2007	Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas
Control geológico del mineral en producción	Perú	Romero_ar	2009	Universidad Nacional de Ingeniería.
Monitoring ore loss and dilution for mine-to-mill integration in deep gold	Sudáfrica	Monitoring ore loss and dilution	2016	The Southern African Institute of Mining and Metallurgy



mines: a survey-

based investigation

Quantifying dilution caused by execution efficiency	Brasil	dx.doi.org-10	2016	Instituto tecnológico Vale.
--	--------	---------------	------	--------------------------------

Minimizaci3n de la Diluci3n Minera, la P3rdida de mineral y la Clasificaci3n Err3nea	Per3	Perumin_33_spanish	2018	Instituto de Ingenieros del Per3
--	------	--------------------	------	-------------------------------------

---

Fuente: Elaborado por los investigadores

En los art3culos se encontraron las diversas formas de diluci3n mineral y como afectan en las operaciones y la recuperaci3n metal3rgica, tambi3n describen las pruebas y las formas de controlarlo y minorar el impacto econ3mico que causan en las diferentes unidades mineras.

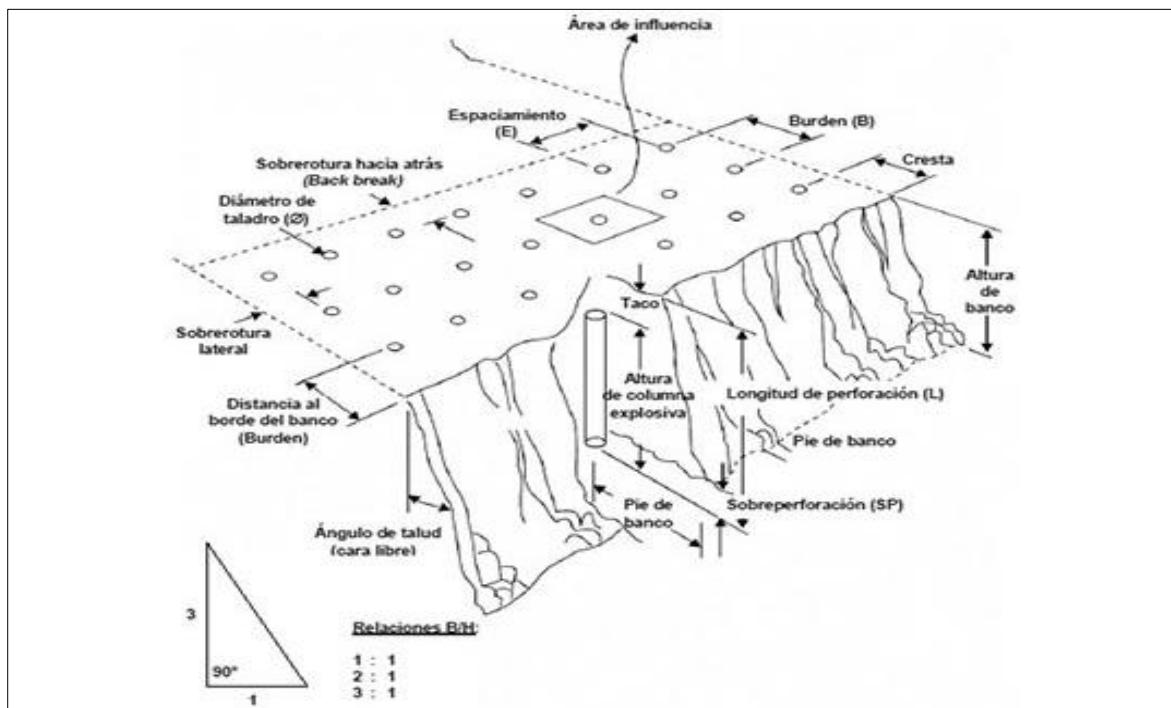
En una primera categor3a se hace referencia a los diferentes par3metros que inciden en la voladura de rocas, los cuales si no son efectuados de una manera 3ptima afectar3n en el proceso de planificaci3n minera. Afectando directamente al contacto mineral- est3ril.

*Tabla 3. Parámetros de voladura*

PARAMETROS	DETALLES
Altura de banco	Distancia vertical que existe entre el punto más alto de un banco de explotación y el pie del mismo
Diámetro de taladro	Abertura de hueco o taladro.
Burden	Distancia más corta que existe hacia el punto de alivio.
Espaciamiento	Distancia que hay entre los taladros
Factor de carga	Es la cantidad de explosivo que se utilizara para fragmentar 1 m <sup>3</sup> de roca.

Fuente: Elaborado por los investigadores

*Figura 2: parámetros o variables de voladura*



Fuente: Exsa, 2009

En una segunda categoría se revisan los factores de carácter geológicos los cuales generan dilución mineral si no se realiza una clasificación adecuada para poder hacer un diseño de voladura.

Hay que determinar cómo se mueve la roca volada en las condiciones específicas de nuestra explotación. Esto se consigue mediante un modelo de desplazamiento, en el que los ingenieros de voladura, en coordinación con el departamento de geología y topografía, elaboran una estimación del desplazamiento de la roca volada, no sólo en superficie, sino en el corazón del banco de voladura (Floyd, 2007)

*Tabla 4. Factores de carácter geológicos*

<b>Factores</b>	<b>Detalle</b>
Diseño geológico	Reestructuración mediante un software de un yacimiento con ayuda de estudios realizados a los sondeos.
Diseño geo mecánico	Es el resultado de estudios de calidad de roca y sus controles para posibles eventos.
Clasificación de unidades geológicas	Es la clasificación de las alteraciones existentes en un yacimiento
Mineral	Material que presenta intereses económicos.
Estéril	Material sin o con mínimo contenido de minerales de interés económico.

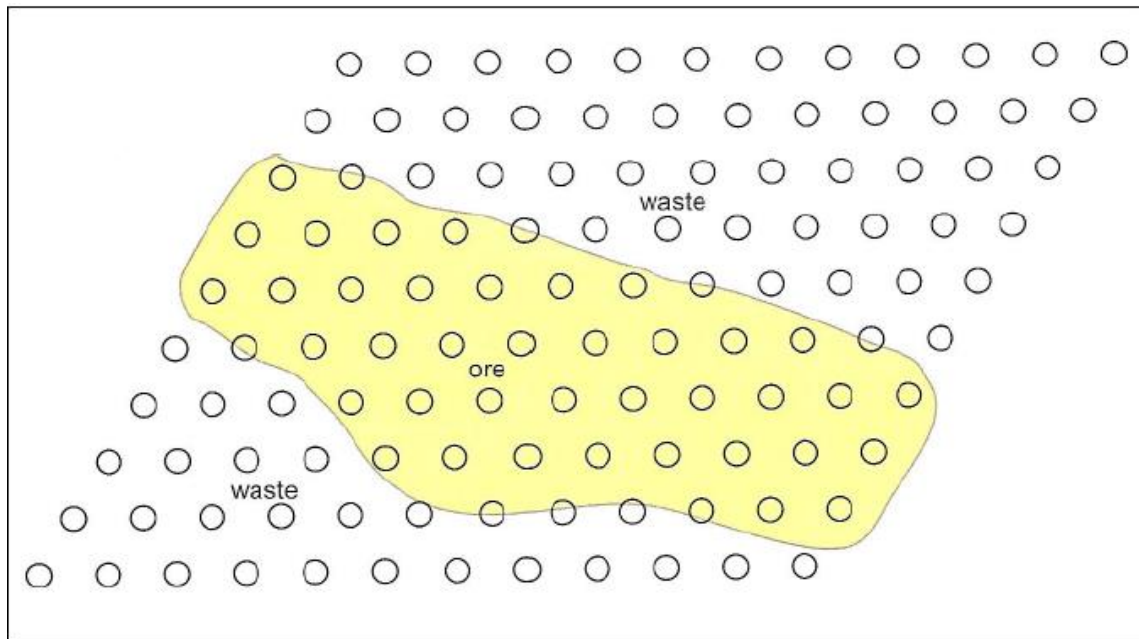
detalle

Dilución por voladura	Se da por un mal diseño de voladura lo cual, las causas más comunes son el factor de carga y la desviación de los taladros.
Dilución por carguio	Es la forma más común y muy poco controlada debido a que los equipos siempre dejan un grado de inclinación entre el hombro y el pie de banco que se está minando.
Dilución por transporte	Esto debido a que los equipos de transporte no tienen un limpieza para cada ciclo de minado aunque es mínima afecta al proceso.
Dilución por mal muestreo de los blast hole	Ocurre cuando hay un mal etiquetado de las muestras tomadas, lo cual conlleva a un mal diseño de polígonos. Genera grandes pérdidas al proceso.
Dilución por mal diseño de polígonos.	Esto debido a un mal estudio de desplazamiento del material volado. Y por un mal muestreo de blast hole.

---

Fuente: Elaborado por los investigadores

*Figura 3. Ejemplo de distribución de una masa mineral en una voladura*



Fuente: Floyd, 2007

*Tabla 5. Controles aplicados para minorar la dilución.*

<b><i>Controles</i></b>	<b><i>Detalle</i></b>
Pruebas de BMMS	Estas pruebas consisten en introducir bolas de acero con sensores en la malla de perforación, teniendo en cuenta las mismas dimensiones de los taladros. Esto se realiza con la finalidad de ver el desplazamiento del material volado, en las diferentes alteraciones existentes en un yacimiento.
Delimitación de polígonos	Consiste en delimitar los polígonos con banderas de diferentes colores según el material y su contenido de mineral. Esto

“FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA DILUCIÓN  
EN OPERACIONES MINERAS A TAJO ABIERTO”  
ayuda a los operadores ver con mayor  
facilidad los límites de los polígonos y evita  
cargar material que no corresponda a dicho  
polígono.

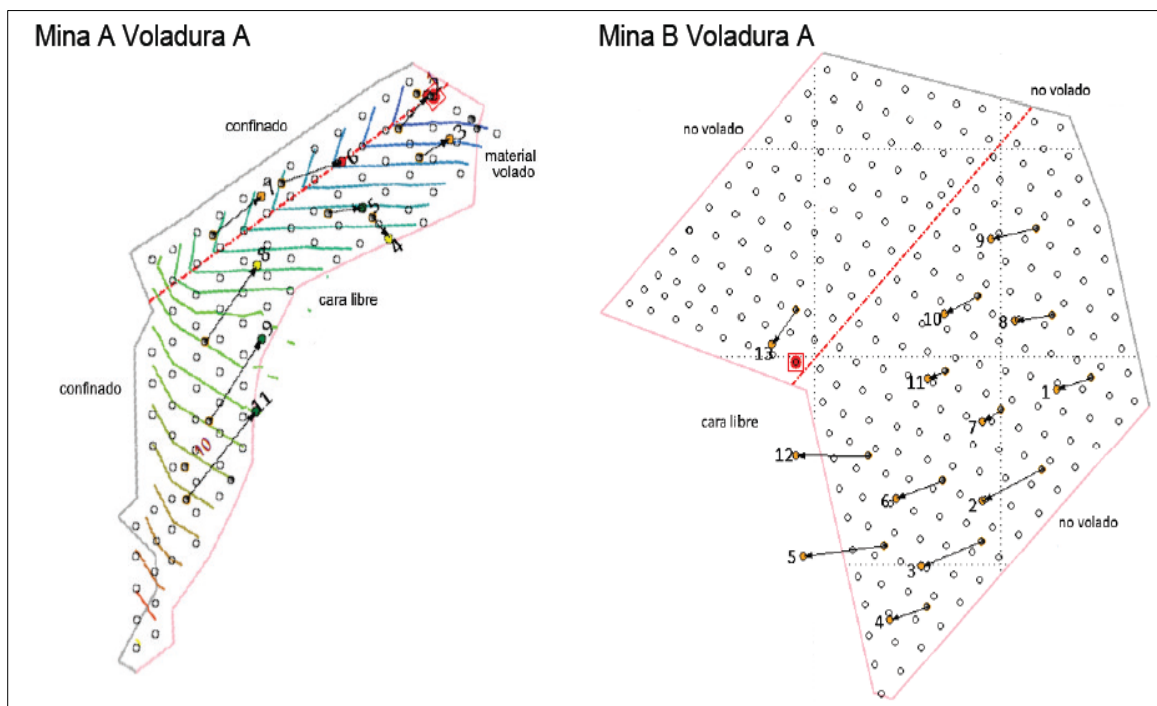
Simulación de voladuras con software

Consiste en realizar pruebas  
computarizadas para ver el desplazamiento  
del mineral. Con ello también se realiza  
ajustes a los parámetros de voladura.

---

Fuente: Elaborado por los investigadores

*Figura 4: Vista en planta de la voladura A y B, con vectores BMM, lo cual servirá para medir el desplazamiento del material volado.*



Fuente: Elaborado por los investigadores

## **CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES**

La dilución minera es un gran enemigo para las diversas empresas mineras, lo cual conlleva a estas empresas en invertir para minorar la dilución y obtener un mayor beneficio.

Comparar los polígonos in situ con los polígonos ajustados según pruebas de desplazamiento, esto con el fin de evaluar el porcentaje de dilución y minorar la misma.

Las magnitudes del desplazamiento horizontal en todas las voladuras que se presentaron fueron significativas. Como se discutió, si no fuera contabilizado el desplazamiento en voladura, la gravedad de la pérdida de mineral, la dilución y la clasificación errónea, es proporcional a la magnitud del desplazamiento (Perumin-33-SPANIHS-FINAL, 2018).

En la minería a cielo abierto, la técnica de arranque de roca mediante voladura conlleva una necesidad de controlar la dilución que se produce a través de los mecanismos de fragmentación y desplazamiento de la pila de roca.

Según reporte de los artículos revisados aplicando los controles desde la voladura se reduce en un 20 % la dilución. Con las pruebas de BMMs se reduce la dilución en un 15% y con controles operativos de carguío y acarreo se reduce en un 5%.

Las limitaciones para poder implementar estos controles en las diversas unidades mineras está basada en la implementación de los controles por su costo en el proceso de perforación y voladura.

## REFERENCIAS

Como elaborar un proyecto de tesis en pregrado, maestría y doctorado: Una manera práctica de saber hacer. Primera Edición. pp. 21-73 (Marcos).

(Hernández, 2010) Metodología de la Investigación, Quinta Edición. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Minimizing dilution in open stope mining with a focus on stope design and narrow vein longhole blasting (Michael, 1998).

Quantifying dilution caused by execution efficiency. (Vale, 2016).

Minimización de la Dilución Minera, la Pérdida de mineral y la Clasificación Errónea al contabilizar el desplazamiento en voladura en minas cupríferas de tipo pórfido - Skarn y de tipo manto en América del Sur (Perù, 2018).

Control geológico del mineral en producción. (Alegria, Romero, 2009).

XII Congreso internacional de energía y recursos minerales. (minerales, 2007).